

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-36574

(P2001-36574A)

(43) 公開日 平成13年2月9日(2001.2.9)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード*(参考)
H 0 4 L 12/56		H 0 4 L 11/20	1 0 2 D 5 B 0 4 6
G 0 6 F 17/50		G 0 6 F 15/60	6 5 0 A 5 K 0 3 0
H 0 4 L 12/44		H 0 4 L 11/00	3 4 0 5 K 0 3 3
			9 A 0 0 1

審査請求 有 請求項の数12 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願平11-201929

(22) 出願日 平成11年7月15日(1999.7.15)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 斎藤 博幸

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100088959

弁理士 境 廣巳

Fターム(参考) 5B046 AA01 CA06 JA07

5K030 GA04 GA13 LB05 LE03 MD07

5K033 AA03 AA04 CB06 CB08 EC02

EC03

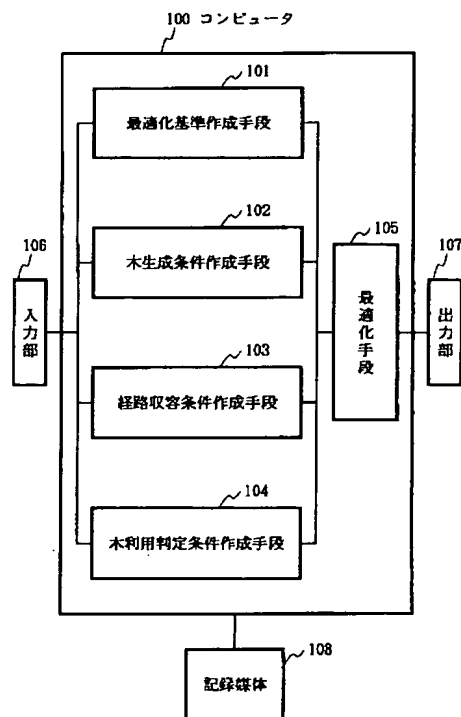
9A001 CC03 GG19 JJ50 KK56

(54) 【発明の名称】 木構造を持つ通信路の設計回路及び木構造を持つ通信路の設計方法並びにコンピュータ可読記録媒体

(57) 【要約】

【課題】 ネットワークへの入口ノードと出口ノード間の通信を木構造をもった通信路で行う場合において、与えられた入口ノードと出口ノード間の経路を収容し最小数の木構造を持つ通信路を作成する。

【解決手段】 最適化基準作成手段101，木生成条件作成手段102，経路収容条件作成手段103，木利用判定条件作成手段104で、与えられた経路を収容した上で木構造を持つ通信路を最小化する混合整数計画問題を作成し、最適化手段105でこの混合整数計画問題を解く。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 通信トラフィックが通信ネットワークから出ていく1つの出口ノード、前記出口ノードから出ていく通信トラフィックが通信ネットワークに入ってくるいくつかの入口ノード、通信トラフィックを中継する中継ノード、および前記入口ノード、前記出口ノード、前記中継ノードを繋ぐリンクからなる通信ネットワークにおいて、入口ノードと出口ノード間の経路が与えられたときに、該経路をすべて収容する木構造を持つ通信路の設計回路であって、

前記与えられた経路を収容するのに使われた、経路を収容する木の候補である木候補グラフの数を最小化する目的関数を作成する最適化基準作成手段と、

すべての木候補グラフが木となるための制約式を作成する木生成条件作成手段と、

前記与えられた経路をいずれかの木候補グラフに収容するための制約式を作成する経路収容条件作成手段と、各木候補グラフが前記与えられた経路を収容するのに使われたか否かを判定する制約式を作成する木利用判定条件作成手段と、

前記最適化基準作成手段で作成された目的関数および前記木生成条件作成手段、前記経路収容条件作成手段、前記木利用判定条件作成手段で作成された制約式より構成される混合整数計画問題を解くことで、与えられた経路を収容する木を得る最適化手段とを備えたことを特徴とする木構造を持つ通信路の設計回路。

【請求項2】 通信トラフィックが通信ネットワークから出ていく1つの出口ノード、前記出口ノードから出ていく通信トラフィックが通信ネットワークに入ってくるいくつかの入口ノード、通信トラフィックを中継する中継ノード、および前記入口ノード、前記出口ノード、前記中継ノードを繋ぐリンクからなる通信ネットワークにおいて、既に設定されてある木構造を持つ通信路および、入口ノードと出口ノード間の経路が与えられたときに、該経路をすべて収容する木構造を持つ通信路の設計回路であって、

既に設定されてある木構造を持つ通信路に前記与えられた経路を収容する経路既存木収容手段と、

前記与えられた経路の内の、前記経路既存木収容手段で収容できなかった経路を収容するのに使われた、経路を収容する木の候補である木候補グラフの数を最小化する目的関数を作成する最適化基準作成手段と、

すべての木候補グラフが木となるための制約式を作成する木生成条件作成手段と、

前記経路既存木収容手段で収容できなかった経路をいずれかの木候補グラフに収容するための制約式を作成する経路収容条件作成手段と、

各木候補グラフが前記経路既存木収容手段で収容できなかった経路を収容するのに使われたか否かを判定する制約式を作成する木利用判定条件作成手段と、

10

20

30

40

50

前記最適化基準作成手段で作成された目的関数および前記木生成条件作成手段、前記経路収容条件作成手段、前記木利用判定条件作成手段で作成された制約式より構成される混合整数計画問題を解くことで、前記経路既存木収容手段において収容できなかった経路を収容する木を得る最適化手段とを備えたことを特徴とする木構造を持つ通信路の設計回路。

【請求項3】 通信トラフィックが通信ネットワークから出ていく1つの出口ノード、前記出口ノードから出ていく通信トラフィックが通信ネットワークに入ってくるいくつかの入口ノード、通信トラフィックを中継する中継ノード、および前記入口ノード、前記出口ノード、前記中継ノードを繋ぐリンクからなる通信ネットワークにおいて、入口ノードと出口ノード間の経路が与えられたときに、該経路をすべて収容する木構造を持つ通信路の設計回路であって、

経路を収容する木の候補である木候補グラフがすべて木となるための制約式を作成する木生成条件作成手段と、前記与えられた経路をいずれかの木候補グラフに収容する

ための制約式を作成する経路収容条件作成手段と、前記木生成条件作成手段、前記経路収容条件作成手段で作成された各制約式に非負の人工変数を付加する人工変数埋込手段と、

各制約式に付加される人工変数の値の合計を最小化するための目的関数を作成する実行可能判定基準作成手段と、

前記実行可能判定基準作成手段で作成された目的関数および前記木生成条件作成手段、前記経路収容条件作成手段、前記人工変数埋込手段で作成された制約式より構成される混合整数計画問題を解くことで、与えられた経路を収容する木を得る最適化手段とを備えたことを特徴とする木構造を持つ通信路の設計回路。

【請求項4】 通信トラフィックが通信ネットワークから出ていく1つの出口ノード、前記出口ノードから出ていく通信トラフィックが通信ネットワークに入ってくるいくつかの入口ノード、通信トラフィックを中継する中継ノード、および前記入口ノード、前記出口ノード、前記中継ノードを繋ぐリンクからなる通信ネットワークにおいて、既に設定されてある木構造を持つ通信路および、入口ノードと出口ノード間の経路が与えられたときに、該経路をすべて収容する木構造を持つ通信路の設計回路であって、

既に設定されてある木構造を持つ通信路に前記与えられた経路を収容する経路既存木収容手段と、

前記経路既存木収容手段で収容できなかった経路を、経路を収容する木の候補である木候補グラフのいずれかに収容するための制約式を作成する経路収容条件作成手段と、

すべての木候補グラフが木となるための制約式を作成する木生成条件作成手段と、

前記木生成条件作成手段、前記経路収容条件作成手段で作成された各制約式に非負の人工変数を付加する人工変数埋込手段と、

各制約式に付加される人工変数の値の合計を最小化するための目的関数を作成する実行可能判定基準作成手段と、

前記実行可能判定基準作成手段で作成された目的関数および前記木生成条件作成手段、前記経路収容条件作成手段、人工変数埋込手段で作成された制約式より構成される混合整数計画問題を解くことで、前記経路既存木収容手段において収容できなかった経路を収容する木を得る最適化手段とを備えたことを特徴とする木構造を持つ通信路の設計回路。

【請求項 5】 通信トラフィックが通信ネットワークから出ていく 1 つの出口ノード、前記出口ノードから出ていく通信トラフィックが通信ネットワークに入ってくるいくつかの入口ノード、通信トラフィックを中継する中継ノード、および前記入口ノード、前記出口ノード、前記中継ノードを繋ぐリンクからなる通信ネットワークにおいて、入口ノードと出口ノード間の経路が与えられたときに、該経路をすべて収容する木構造を持つ通信路の設計方法であって、

前記与えられた経路を収容するのに使われた、経路を収容する木の候補である木候補グラフの数を最小化する目的関数を作成する最適化基準作成ステップと、

すべての木候補グラフが木となるための制約式を作成する木生成条件作成ステップと、

前記与えられた経路をいずれかの木候補グラフに収容するための制約式を作成する経路収容条件作成ステップと、

各木候補グラフが前記与えられた経路を収容するのに使われたか否かを判定する制約式を作成する木利用判定条件作成ステップと、

前記最適化基準作成ステップで作成された目的関数および前記木生成条件作成ステップ、前記経路収容条件作成ステップ、前記木利用判定条件作成ステップで作成された制約式より構成される混合整数計画問題を解くことで、与えられた経路を収容する木を得る最適化ステップとを含むことを特徴とする木構造を持つ通信路の設計方法。

【請求項 6】 通信トラフィックが通信ネットワークから出ていく 1 つの出口ノード、前記出口ノードから出ていく通信トラフィックが通信ネットワークに入ってくるいくつかの入口ノード、通信トラフィックを中継する中継ノード、および前記入口ノード、前記出口ノード、前記中継ノードを繋ぐリンクからなる通信ネットワークにおいて、既に設定されてある木構造を持つ通信路および、入口ノードと出口ノード間の経路が与えられたときに、該経路をすべて収容する木構造を持つ通信路の設計方法であって、

既に設定されてある木構造を持つ通信路に前記与えられた経路を収容する経路既存木収容ステップと、

前記与えられた経路の内の、前記経路既存木収容ステップで収容できなかった経路を収容するのに使われた、経路を収容する木の候補である木候補グラフの数を最小化する目的関数を作成する最適化基準作成ステップと、

すべての木候補グラフが木となるための制約式を作成する木生成条件作成ステップと、

10 前記経路既存木収容ステップで収容できなかった経路をいずれかの木候補グラフに収容するための制約式を作成する経路収容条件作成ステップと、

各木候補グラフが前記経路既存木収容ステップで収容できなかった経路を収容するのに使われたか否かを判定する制約式を作成する木利用判定条件作成ステップと、

前記最適化基準作成ステップで作成された目的関数および前記木生成条件作成ステップ、前記経路収容条件作成ステップ、前記木利用判定条件作成ステップで作成された制約式より構成される混合整数計画問題を解くこと

20 で、前記経路既存木収容ステップにおいて収容できなかった経路を収容する木を得る最適化ステップとを含むことを特徴とする木構造を持つ通信路の設計方法。

【請求項 7】 通信トラフィックが通信ネットワークから出ていく 1 つの出口ノード、前記出口ノードから出ていく通信トラフィックが通信ネットワークに入ってくるいくつかの入口ノード、通信トラフィックを中継する中継ノード、および前記入口ノード、前記出口ノード、前記中継ノードを繋ぐリンクからなる通信ネットワークにおいて、入口ノードと出口ノード間の経路が与えられたときに、該経路をすべて収容する木構造を持つ通信路の設計方法であって、

30 経路を収容する木の候補である木候補グラフがすべて木となるための制約式を作成する木生成条件作成ステップと、

前記与えられた経路をいずれかの木候補グラフに収容するための制約式を作成する経路収容条件作成ステップと、

前記木生成条件作成ステップ、前記経路収容条件作成ステップで作成された各制約式に非負の人工変数を付加する人工変数埋込ステップと、

40 各制約式に付加される人工変数の値の合計を最小化するための目的関数を作成する実行可能判定基準作成ステップと、

前記実行可能判定基準作成ステップで作成された目的関数および前記木生成条件作成ステップ、前記経路収容条件作成ステップ、前記人工変数埋込ステップで作成された制約式より構成される混合整数計画問題を解くこと

で、与えられた経路を収容する木を得る最適化ステップとを含むことを特徴とする木構造を持つ通信路の設計方法。

50 【請求項 8】 通信トラフィックが通信ネットワークか

5

ら出ていく1つの出口ノード、前記出口ノードから出ていく通信トラフィックが通信ネットワークに入ってくるいくつかの入口ノード、通信トラフィックを中継する中継ノード、および前記入口ノード、前記出口ノード、前記中継ノードを繋ぐリンクからなる通信ネットワークにおいて、既に設定されてある木構造を持つ通信路および、入口ノードと出口ノード間の経路が与えられたときに、該経路をすべて収容する木構造を持つ通信路の設計方法であって、

既に設定されてある木構造を持つ通信路に前記与えられた経路を収容する経路既存木収容ステップと、

前記経路既存木収容ステップで収容できなかった経路を、経路を収容する木の候補である木候補グラフのいずれかに収容するための制約式を作成する経路収容条件作成ステップと、

すべての木候補グラフが木となるための制約式を作成する木生成条件作成ステップと、

前記木生成条件作成ステップ、前記経路収容条件作成ステップで作成された各制約式に非負の人工変数を付加する人工変数埋込ステップと、

各制約式に付加される人工変数の値の合計を最小化するための目的関数を作成する実行可能判定基準作成ステップと、

前記実行可能判定基準作成ステップで作成された目的関数および前記木生成条件作成ステップ、前記経路収容条件作成ステップ、人工変数埋込ステップで作成された制約式より構成される混合整数計画問題を解くことで、前記経路既存木収容ステップにおいて収容できなかった経路を収容する木を得る最適化ステップとを含むことを特徴とする木構造を持つ通信路の設計方法。

【請求項9】 通信トラフィックが通信ネットワークから出ていく1つの出口ノード、前記出口ノードから出ていく通信トラフィックが通信ネットワークに入ってくるいくつかの入口ノード、通信トラフィックを中継する中継ノード、および前記入口ノード、前記出口ノード、前記中継ノードを繋ぐリンクからなる通信ネットワークにおいて、入口ノードと出口ノード間の経路が与えられたときに、該経路をすべて収容する木構造を持つ通信路をコンピュータによって設計するためのプログラムを記録したコンピュータ可読記録媒体であって、

前記コンピュータに、

前記与えられた経路を収容するのに使われた、経路を収容する木の候補である木候補グラフの数を最小化する目的関数を作成する最適化基準作成ステップと、

すべての木候補グラフが木となるための制約式を作成する木生成条件作成ステップと、

前記与えられた経路をいずれかの木候補グラフに収容するための制約式を作成する経路収容条件作成ステップと、

各木候補グラフが前記与えられた経路を収容するのに使

6

われたか否かを判定する制約式を作成する木利用判定条件作成ステップと、

前記最適化基準作成ステップで作成された目的関数および前記木生成条件作成ステップ、前記経路収容条件作成ステップ、前記木利用判定条件作成ステップで作成された制約式より構成される混合整数計画問題を解くことで、与えられた経路を収容する木を得る最適化ステップとを実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ可読記録媒体。

10 【請求項10】 通信トラフィックが通信ネットワークから出ていく1つの出口ノード、前記出口ノードから出ていく通信トラフィックが通信ネットワークに入ってくるいくつかの入口ノード、通信トラフィックを中継する中継ノード、および前記入口ノード、前記出口ノード、前記中継ノードを繋ぐリンクからなる通信ネットワークにおいて、既に設定されてある木構造を持つ通信路および、入口ノードと出口ノード間の経路が与えられたときに、該経路をすべて収容する木構造を持つ通信路をコンピュータによって設計するためのプログラムを記録したコンピュータ可読記録媒体であって、

20 前記コンピュータに、

既に設定されてある木構造を持つ通信路に前記与えられた経路を収容する経路既存木収容ステップと、

前記与えられた経路の内の、前記経路既存木収容ステップで収容できなかった経路を収容するのに使われた、経路を収容する木の候補である木候補グラフの数を最小化する目的関数を作成する最適化基準作成ステップと、すべての木候補グラフが木となるための制約式を作成する木生成条件作成ステップと、

30 前記経路既存木収容ステップで収容できなかった経路をいずれかの木候補グラフに収容するための制約式を作成する経路収容条件作成ステップと、

各木候補グラフが前記経路既存木収容ステップで収容できなかった経路を収容するのに使われたか否かを判定する制約式を作成する木利用判定条件作成ステップと、前記最適化基準作成ステップで作成された目的関数および前記木生成条件作成ステップ、前記経路収容条件作成ステップ、前記木利用判定条件作成ステップで作成された制約式より構成される混合整数計画問題を解くこと

40 で、前記経路既存木収容ステップにおいて収容できなかった経路を収容する木を得る最適化ステップとを実行させるプログラムを記録したコンピュータ可読記録媒体。

【請求項11】 通信トラフィックが通信ネットワークから出ていく1つの出口ノード、前記出口ノードから出ていく通信トラフィックが通信ネットワークに入ってくるいくつかの入口ノード、通信トラフィックを中継する中継ノード、および前記入口ノード、前記出口ノード、前記中継ノードを繋ぐリンクからなる通信ネットワークにおいて、入口ノードと出口ノード間の経路が与えられたときに、該経路をすべて収容する木構造を持つ通信路

をコンピュータによって設計するためのプログラムを記録したコンピュータ可読記録媒体であって、

前記コンピュータに、

経路を収容する木の候補である木候補グラフがすべて木となるための制約式を作成する木生成条件作成ステップと、

前記与えられた経路をいずれかの木候補グラフに収容するための制約式を作成する経路収容条件作成ステップと、

前記木生成条件作成ステップ、前記経路収容条件作成ステップで作成された各制約式に非負の人工変数を付加する人工変数埋込ステップと、

各制約式に付加される人工変数の値の合計を最小化するための目的関数を作成する実行可能判定基準作成ステップと、

前記実行可能判定基準作成ステップで作成された目的関数および前記木生成条件作成ステップ、前記経路収容条件作成ステップ、前記人工変数埋込ステップで作成された制約式より構成される混合整数計画問題を解くことで、与えられた経路を収容する木を得る最適化ステップとを実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ可読記録媒体。

【請求項12】 通信トラフィックが通信ネットワークから出ていく1つの出口ノード、前記出口ノードから出ていく通信トラフィックが通信ネットワークに入ってくるいくつかの入口ノード、通信トラフィックを中継する中継ノード、および前記入口ノード、前記出口ノード、前記中継ノードを繋ぐリンクからなる通信ネットワークにおいて、既に設定されてある木構造を持つ通信路および、入口ノードと出口ノード間の経路が与えられたときに、該経路をすべて収容する木構造を持つ通信路をコンピュータによって設計するためのプログラムを記録したコンピュータ可読記録媒体であって、

前記コンピュータに、

既に設定されてある木構造を持つ通信路に前記与えられた経路を収容する経路既存木収容ステップと、

前記経路既存木収容ステップで収容できなかった経路を、経路を収容する木の候補である木候補グラフのいずれかに収容するための制約式を作成する経路収容条件作成ステップと、

すべての木候補グラフが木となるための制約式を作成する木生成条件作成ステップと、

前記木生成条件作成ステップ、前記経路収容条件作成ステップで作成された各制約式に非負の人工変数を付加する人工変数埋込ステップと、

各制約式に付加される人工変数の値の合計を最小化するための目的関数を作成する実行可能判定基準作成ステップと、

前記実行可能判定基準作成ステップで作成された目的関数および前記木生成条件作成ステップ、前記経路収容条

件作成ステップ、人工変数埋込ステップで作成された制約式より構成される混合整数計画問題を解くことで、前記経路既存木収容ステップにおいて収容できなかった経路を収容する木を得る最適化ステップとを実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ可読記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、木構造を持つ通信路の設計技術に関し、特に与えられた入口ノード、出口ノード間の経路をすべて収容した上で、木の数が最小となる木構造を持つ通信路を設計する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】Asynchronous Transfer Mode(ATM)におけるVirtual Channel (VC)やVirtual Path (VP)、Multi protocol Label Switching (MPLS) ("A Framework for Multiprotocol Label Switching Architecture", <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-mpls-framework-02.txt>) におけるLabel Switched Path(LSP)などの例に見られるように、ネットワークへの入口ノードと出口ノード間に経路を作成し、その経路上にパケットを送ることによって通信を行う方法がある。

【0003】この場合、通信需要のある入口、出口ノードペア間に最低一本の経路を作成する必要がある。さらにネットワークノードやリンクの障害に対して迂回できるようにするためには、互いにノードやリンクを共有しない一組の経路を作成する必要がある。また、あるノードやリンクに通信トラフィックが集中するのを避けるためには、ある入口ノード、出口ノード間に複数の経路を作成しておくことが好ましい。

【0004】しかしながら、すべての入口、出口ノード間に複数の経路を登録しようとすると、ATM VP/VCの場合はVirtual Path Identifier(VPI)やVirtual Channel Identifier(VCI)の数が多くなり、MPLSの場合にはラベルの数が多くなるという問題がある。

【0005】そこで、ATMの場合には、複数の入口ノードから1つの出口ノードまでの通信に同じVPIやVCIを使うVPマージやVCマージという方法("A Framework for Multiprotocol Label Switching Architecture", <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-mpls-framework-02.txt>)、また、MPLSの場合にも同様に複数の入口ノードから1つの出口ノードまでの通信に同じラベルを使う方法("IP Navigator MPLS Executive Overview", Ascend White Paper, <http://www.ascend.com/docs/techdocs/ipnavwp.pdf>)がある。

【0006】このように複数の入口ノードから1つの出口ノードまでの通信に同じVPI/VCIやラベルを使う場合、出口ノードを根とした木を逆向きに転送する構造となる。障害迂回のために各入口、出口ノードペア間に同じリンクもしくはノードを共有しない最低一組の経路があり、さらに通信トラフィックの集中を避けるために複

数の経路があるという条件を満たしつつ、VPI/VCI やラベルの数を少なくするために木の総数なるべく少なくする木を作る必要がある。

【0007】一方、木を作成する方法の1つとしてはDijkstra法(伊理、今野、刀根、最適化ハンドブック、朝倉書店)を利用する方法がある。Dijkstra法は出発点からすべての他の頂点への最短路を探索する方法であるが、出口ノードを出発点として各入口ノードまで最短路を探索することによって、木構造を生成できる。

【0008】また、木を作成する他の方法として最小木(minimum spanning tree)(伊理、白川、梶谷、篠田、「演習グラフ理論」、コロナ社)がある。ここで最小木とは枝の重みの総和が最小であるような木であり、例えば、Kruskalの方法(伊理、白川、梶谷、篠田、「演習グラフ理論」、コロナ社)により求めることができる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】従来の木を作成する方法では、与えられたネットワークポロジーに対して1つの木を作成する。そのため、入口、出口ノード間には一本の経路しか存在せず、障害迂回のために互いにノードやリンクを共有しない一組の経路を提供することや、その上で、負荷分散のために複数の経路を提供することができないという問題があった。

【0010】

【発明の目的】本発明の目的は、与えられた経路を収容した上で木の数最小となる、木構造を持つ通信路を設計する技術を提供することである。すなわち、障害迂回のために互いにノードやリンクを共有しない一組の経路や、負荷分散のために複数の経路を与えて、それらを収容し、木の数最小となる木構造を持つ通信路を設計することができる。

【0011】本発明の他の目的は、与えられた経路を収容した木構造を持つ通信路を設計する技術を提供することである。すなわち、障害迂回のために互いにノードやリンクを共有しない一組の経路や、負荷分散のために複数の経路を与えて、それらを収容し、木構造を持つ通信路を設計することができる。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の木構造を持つ通信路の設計回路は、与えられた入口ノードと出口ノード間の経路を最小数の木構造を持つ通信路で収容する混合整数計画問題を設定し、それを解き、木構造を持つ通信路を提供する。より具体的には、与えられた経路を、最小数の木構造を持つ通信路で収容する混合整数計画問題を作成する最適化基準作成手段(図1の101)、木生成条件作成手段(図1の102)、経路収容条件作成手段(図1の103)、木利用判定条件作成手段(図1の104)を有し、更に、これらの手段によって作成された混合整数計画問題を解く最適化手段(図1の105)を有する。

【0013】本発明の第2の木構造を持つ通信路の設計

回路は、与えられた入口ノードと出口ノード間の経路をまず、既存の木構造を持つ通信路で収容し、収容できない経路について、最小数の木構造を持つ通信路で収容する混合整数計画問題を設定し、それを解くことによって、木構造を持つ通信路を提供する。より具体的には、与えられた経路を、既存の木構造を持つ通信路に収容する経路既存木収容手段(図5の501)を有し、収容できなかった経路を最小数の木構造を持つ通信路で収容する混合整数計画問題を作成する最適化基準作成手段(図5の502)、木生成条件作成手段(図5の503)、経路収容条件作成手段(図5の504)、木利用判定条件作成手段(図5の505)を有し、更に、混合整数計画問題を解く最適化手段(図5の506)を有する。

【0014】本発明の第3の木構造を持つ通信路の設計回路は、与えられた入口ノードと出口ノード間の経路を木構造を持つ通信路で収容する混合整数計画問題を設定し、それを解き、木構造を持つ通信路を提供する。より具体的にはこの混合整数計画問題を作成する実行可能判定基準作成手段(図8の801)、木生成条件作成手段(図8の802)、経路収容条件作成手段(図8の803)、人工変数埋込手段(図8の804)を有し、更に、混合整数計画問題を解く最適化手段(図8の805)を有する。

【0015】本発明の第4の木構造を持つ通信路の設計回路は、与えられた入口ノードと出口ノード間の経路をまず、既存の木構造を持つ通信路で収容し、収容できない経路について木構造を持つ通信路で収容する混合整数計画問題を設定し、それを解くことによって、木構造を持つ通信路を提供する。より具体的には、与えられた経路を、既存の木構造を持つ通信路に収容する経路既存木収容手段(図11の1101)を有し、収容できなかった経路を最小数の木構造を持つ通信路で収容する混合整数計画問題を作成する実行可能判定基準作成手段(図11の1102)、木生成条件作成手段(図11の1103)、経路収容条件作成手段(図11の1104)、人工変数埋込手段(図11の1105)を有し、更に、混合整数計画問題を解く最適化手段(図11の1106)を有する。

【0016】最適化基準作成手段、木生成条件作成手段、経路収容条件作成手段、木利用判定条件作成手段より最小数の木構造を持つ通信路ですべての与えられた経路を収容する混合整数計画問題を作成し、最適化手段でこの混合整数計画問題を解く。

【0017】また、実行可能判定基準作成手段、木生成条件作成手段、経路収容条件作成手段、人工変数埋込手段により木構造を持つ通信路ですべての与えられた経路を収容する混合整数計画問題を作成し、最適化手段でこの混合整数計画問題を解く。

【0018】また、経路既存木収容手段では既存の木に与えられた入口ノードと出口ノード間の経路を収容する。

【0019】

【発明の実施の形態】次に本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0020】図2は本発明の実施の形態が、木構造を持った通信路の設計対象にするネットワークの例を示したものである。本発明ではネットワークは有向グラフで表されるとする。無向グラフで表されるネットワークに適用する場合には、それぞれの方向のリンク、経路があるものとして取り扱う。

【0021】通信トラフィックが対象ネットワークに入ってくるノードを入口ノード、通信トラフィックが対象ネットワークから出ていくノードを出口ノードと呼び、入口ノードもしくは出口ノードになりうるノードを端ノードと呼ぶ。図2においてはノードe1~e10が端ノードである。また、入口、出口ノードにはならず、通信トラフィックを中継するだけのノードを中継ノードと呼ぶ。図2においてはノードc1~c5が中継ノードである。また任意のノード間には方向性を持ったリンクが存在する。図2では無方向の線を一本引いてあるがこれをもって両方向のリンクが存在するとみなす。リンクは、例えば、ノードe5からノードc3を繋ぐリンクを(e5, c3)と記述する。また、図2において、同じ属性の太線の矢印の集合より木を表す。ここでは、この説明に必要なリンクしか木の構成要素として記述していない。図2では三種類の木があり、t1, t2, t3と表記する。また経路の表記は、ノード並びで行う。例えば、ノードe7, ノードc5, ノードc1, ノードe1と通る経路をe7-c5-c1-e1と表記する。

【0022】ノードe1を出口ノードとした例で、経路の設定法を説明する。例えば、ノードe7ノードe1間にe7-c5-c1-e1とe7-c4-c3-c2-e1の経路を設定したいとする。これは、それぞれt1, t2という木に収容することができる。また、ノードe5ノードe1間にe5-c4-c1-e1とe5-c3-c2-e1の経路を設定したいとする。これはノードe7ノードe1間の時と同様にそれぞれ木t1, t2に収容できる。さらに、ノードe3ノードe1間にe3-c2-e1とe3-c3-c4-c1-e1の経路を設定したいとする。この場合e3-c2-e1は木t2に収容できるが、e3-c3-c4-c1-e1は木t1, t2に収容することはできない。そこで木t3を作成し、ここに収容する。この例では3つの木によって与えられた経路を収容している。

【0023】続いて本発明の実施の形態の説明で用いる言葉を定義し、記号を説明する。

【0024】まず、木候補グラフについて定義する。木候補グラフとは、対象となるネットワークにおいて、ノード構成要素が、出口ノード、入口ノード及び全中継ノードで、リンク構成要素が、それらのノードを繋ぐリンクの内の一部のリンクで、すべての入口ノードとすべての中継ノードから出口ノードまで到達可能なグラフであり、最終的に与えられた経路を収容することになる木の候補となるものである。木の候補である。本発明では、この木候補グラフが与えられた経路を収容し、かつ、木

となるように混合整数計画問題を設定し、解く。

【0025】続いて、集合および要素を表す記号を説明する。

【0026】・e: 出口ノードを示す。
・ T_e : 出口ノードeの木候補グラフ集合。
・ N^{core} : 中継ノード集合。
・ N^{edge} : 端ノード集合。
・ L^{c-c} : 中継ノード間をつなぐリンク集合。各要素を(1, m)で表す。ここで1は発ノード、mは着ノードである。

・ L^{e-c} : 端ノード、中継ノード間をつなぐリンク集合。各要素を(1, m)で表す。ここで1は発ノード、mは着ノードである。(1, m)の一方は中継ノードで、もう一方は端ノードである。

・ $P(i, e)$: 入口ノードi-出口ノードe間の経路集合。各要素をp(i, e)で表す。

・ $L^{p(i, e)}$: 経路p(i, e)が使うリンクの集合。

【0027】次に変数を定義する。

【0028】・ r^{te} : 出口ノードeの木候補グラフ t_e が経路を収容するのに使われたとき1をとり、そうでないとき0をとる0-1変数。

・ $h^{te}(l, m)$: 木候補グラフ t_e がリンク(1, m)を使うとき1をとり、そうでないとき0をとる0-1変数。

・ $f^{te}(l, m)$: 木候補グラフ t_e においてリンク(1, m)に流れるフローの量。実数変数。ここでフローとは、いわゆるネットワークフローモデル(伊理、今野、刀根、最適化ハンドブック、朝倉書店)におけるフローを意味する。

・ $\delta^{te}_{p(i, e)}$: 木候補グラフ t_e が経路p(i, e)を含むとき1をとり、そうでないとき0をとる0-1変数。

【0029】最後に定数を定義する。

【0030】・ $o(l, e)$: 中継ノードlと出口ノードeをつなぐリンク(1, e)が存在すれば1をとり、そうでなければ0をとる定数。

・M: 任意の充分大きな定数。

【0031】本発明の第1の実施の形態を説明する。

【0032】図1は本発明の第1の実施の形態における木構造を持つ通信路の設計回路の構成を示すブロック図であり、最適化基準作成手段101, 木生成条件作成手段102, 経路収容条件作成手段103, 木利用判定条件作成手段104及び最適化手段105を備えたコンピュータ100と、キーボード等の入力部106と、ディスプレイ装置等の出力部107と、記録媒体108とから構成される。

【0033】記録媒体108は、フロッピーディスク、ROM(リードオンリメモリ)、その他の記録媒体であり、コンピュータ100を木構造を持つ通信路の設計回路として機能させるためのプログラムが記録されている。このプログラムは、コンピュータ100によって読み取られ、コンピュータ100の動作を制御することで、コンピュータ100上に最適化基準作成手段101, 木生成条件作成手段

102, 経路収容条件作成手段103, 木利用判定条件作成手段104, 最適化手段105 を実現する。

【0034】図3は本発明の第1の実施の形態における最適化基準作成手段101, 木生成条件作成手段102, 経路収容条件作成手段103, 木利用判定条件作成手段104 及び最適化手段105 の処理例を示すフローチャートである。以下、各図を参照して本実施の形態の動作について説明する。

【0035】まず、入力部106 を用いてコンピュータ100 に入力データとして、端ノード, 中継ノードおよびリンクから構成されるネットワークポロジと、出口ノードのノード識別子と、入口ノード出口ノード間の経路集合と、木候補グラフの数とを与える。木候補グラフの数が少ない場合、その数ではすべての与えられた経路を収容することができない場合が起こりうる。木候補グラフの数の与え方の1つとして、充分大きな数を与える方法がある。また、適当な数を与えるが、解が得られなかった場合は数を増やして、再度本発明を適用してもよい。

【0036】与えられた入力データを元に最適化基準作成手段101 では、次式(1)に示す目的関数を作成する(図3のステップ301)。

$$\sum_{\{m:(l,m) \in L^{e-c}\}} f_{(l,m)}^{t_e} = 1 \quad (\forall t_e \in T_e, \forall l \in N^{edge} \setminus \{e\})$$

. . . . (1)

【0042】

$$\begin{aligned} & \sum_{\{m:(l,m) \in L^{c-c}\}} f_{(l,m)}^{t_e} - \sum_{\{m:(m,l) \in L^{c-c}\}} f_{(m,l)}^{t_e} \\ & + O(l,e) f_{(l,e)}^{t_e} - \sum_{\{m:(m,l) \in L^{e-c}\}} f_{(m,l)}^{t_e} = 1 \\ & (\forall t_e \in T_e, l \in N^{core}) \end{aligned}$$

. . . . (2)

【0043】

$$\sum_{\{l:(l,e) \in L^{e-c}\}} f_{(l,e)}^{t_e} = |N^{edge}| + |N^{core}| - 1$$

$$(\forall t_e \in T_e)$$

. . . . (3)

【0044】連結の条件を示す制約式(2)～(4)の

10

20

50

【0037】

【数1】

$$\text{Minimize} \quad \sum_{t_e \in T_e} r^{t_e}$$

. . . . (1)

【0038】式(1)は与えられた経路を収容するのに使われた木候補グラフの数を最小化する目的関数である。

【0039】続いて、木生成条件作成手段102 で木候補グラフが木となるための制約式、即ち木候補グラフが連結となるための制約式と、使用するリンク数が(ノード数-1)となるための制約式とを作成する(図3のステップ302)。

【0040】まず、連結となるための制約式を設定する。連結にするためには出口ノードを吸い込み口、入口ノード及び中継ノードを湧きだし口としたネットワークフロー問題を設定すればよい。以下にそのための制約式(2)～(4)を記述する。

【0041】

【数2】

【数4】

$$(\forall t_e \in T_e)$$

. . . . (4)

内、制約式(2)は、入口ノードが吹き出し口として1

湧きだしていることを示す。制約式(3)は、中継ノードが吹き出し口として1湧きだしていることを示す。制約式(4)は、出口ノードが吸い込み口として、入口ノードおよび中継ノードから吹き出された量である $|N^{ed}_{ge}| + |N^{core}| - 1$ を吸い込むことを示す。

【0045】続いて、リンク数が(ノード数-1)となるための制約式(5)を設定する。

【0046】

【数5】

$$\begin{aligned} & \sum_{(l,m) \in L^{c-c}} h_{(l,m)}^{te} + \left\{ l : (l,e) \in E^{e-c} \right\} h_{(l,e)}^{te} \\ & + \sum_{l \in N^{edge} \setminus \{e\}} \left\{ m : (l,m) \in E^{e-c} \right\} h_{(l,e)}^{te} \\ & = |N^{core}| + |N^{edge}| - 1 \quad (\forall t_e \in T_e) \\ & \dots (5) \end{aligned}$$

【0047】連結のための制約式(2)～(4)では変数 $f_{(l,m)}^{te}$ を使っているのに対し、リンク数を(ノード数-1)とするための制約式(5)では変数 $h_{(l,m)}^{te}$ を使っているため、これらに対応づける必要があ

る。そのために以下の制約式(6)～(8)を設定する。

【0048】

20 【数6】

$$M h_{(l,m)}^{te} \geq f_{(l,m)}^{te} \quad (\forall t_e \in T_e, \forall (l,m) \in L^{c-c}) \dots (6)$$

【0049】

【数7】

$$M h_{(l,e)}^{te} \geq f_{(l,e)}^{te} \quad (\forall t_e \in T_e, \forall (l,e) \in L^{e-c}) \dots (7)$$

【0050】

30 【数8】

$$\begin{aligned} & M h_{(l,m)}^{te} \geq f_{(l,m)}^{te} \\ & (\forall t_e \in T_e, \forall (l,m) \in L^{e-c}, \forall l \in N^{edge} \setminus \{e\}) \\ & \dots (8) \end{aligned}$$

【0051】制約式(6)は、中継ノード間のリンクに関する変数に対応づける制約式である。制約式(7)は、中継ノードから出口ノードへ向かうリンクに関する変数に対応づける制約式である。制約式(8)は、入口ノードから中継ノードへ向かうリンクに関する変数に対応づける制約式である。

【0052】なお、制約式(2)、制約式(3)の第4

項では、それぞれ、変数 $f_{(l,m)}^{te}$ 、 $f_{(m,l)}^{te}$ を使っているが、それぞれ、変数 $h_{(l,m)}^{te}$ 、 $h_{(m,l)}^{te}$ と置き換えても同じ効果を持つ。これに伴い、制約式(8)は削除される。さらに、制約式(5)を次のように置き換えてもよい。

【0053】

【数9】

$$\begin{aligned} & \sum_{(l,m) \in L^{c-c}} h_{(l,m)}^{te} + \left\{ l : (l,e) \in E^{e-c} \right\} h_{(l,e)}^{te} = |N^{core}| \\ & (\forall t_e \in T_e) \\ & \dots (9) \end{aligned}$$

【0054】続いて、経路収容条件作成手段103 で与えられた経路を木候補グラフに収容するために次の制約式(10)、(11)を作成する(図3のステップ303)。

【0055】

【数10】

$$\sum_{(l,m) \in \left\{ L^{p(i,e)} \cap L^{c-c} \right\}} h_{(l,m)}^{t_e} + \sum_{(l,m) \in \left\{ L^{p(i,e)} \cap L^{e-c} \right\}} h_{(l,m)}^{t_e} \geq \left| L^{p(i,e)} \right| \delta_{p(i,e)}^{t_e} \quad \left(p(i,e) \in P_{(i,e)}, i \in N^{edge} \setminus \{e\}, t_e \in T_e \right) \quad \dots \dots (10)$$

【0056】

【数11】

$$\sum_{t_e \in T_e} \delta_{p(i,e)}^{t_e} \geq 1 \quad \left(\forall p(i,e) \in P_{(i,e)}, \forall i \in N \setminus \{e\} \right) \quad \dots \dots (11)$$

【0057】制約式(10)は、経路 $p(i,e)$ が使っているリンクに関する $h_{(l,m)}^{t_e}$ を加算し、これが $p(i,e)$ のホップ数と等しければ $p(i,e)$ が木候補グラフ t_e に収容されたことを意味する。制約式(11)は、すべての経路がいずれかの木候補グラフに収容されることを意味する。

木候補グラフが経路を収容するのに使われたか否かを判定するための次の制約式(12)を作成する(図3のステップ304)。

【0059】

【数12】

【0058】続いて、木利用判定条件作成手段104 で各

$$\sum_{i \in N^{edge} \setminus \{e\}} \sum_{p(i,e) \in P(i,e)} \delta_{p(i,e)}^{t_e} \leq M r^{t_e} \quad \left(\forall t_e \in T_e \right) \quad \dots \dots (12)$$

【0060】制約式(12)は、木候補グラフ t_e が1つでも経路を収容するのに使われていたら r^{t_e} に1を立てることを意味する。

【0061】そして、最後に最適化手段105 で、最適化基準作成手段101 より作成された目的関数および木生成条件作成手段102、経路収容条件作成手段103、木利用判定条件作成手段104 より作成された制約式より構成される混合整数計画問題をSimplex法(伊理、今野、刀根、「最適化ハンドブック」、朝倉書店)などの混合整数計画問題を解く方法で解き、木の数を最小とする木構造を持つ通信路を得る(図3のステップ305)。尚、複数出口ノードがある場合はそれぞれの出口ノードに対して本発明を適用すればよい。

【0062】次に、本発明の第2の実施の形態を説明す

る。第2の実施の形態は、図1に示す最適化基準作成手段101、木生成条件作成手段102、経路収容条件作成手段103、木利用判定条件作成手段104、最適化手段105に、それぞれ図4のフローチャートのステップ401、402、403、404、405の処理を実行させることにより実現される。なお、本実施の形態と第1の実施の形態とは、木生成条件作成手段102が実行するステップ402の処理のみが異なるので、ここでは、木生成条件作成手段102の動作のみ説明する。

【0063】木生成条件作成手段102では、木候補グラフが木となるための制約式、即ち木候補グラフが連結となるための制約式と、各入口ノードおよび中継ノードを発ノードとするリンクを一本のみ使うという制約式を作成する(図4のステップ402)。

40

50

【0064】 先ず、連結となる制約式を設定する。ここで、連結となるための制約式は第1の実施の形態において作成する制約式(2)～(4)と同じである。

【0065】 続いて、各入口ノードおよび中継ノードを

$$\sum_{\{m:(l,m) \in L^{e-c}\}} h_{(l,m)}^{te} = 1$$

$$(\forall l \in N^{edge} \setminus \{e\}, \forall t_e \in T_e)$$

..... (13)

【0067】

【数14】

$$\sum_{\{m:(l,m) \in L^{c-c}\}} h_{(l,m)}^{te} + o_{(l,e)} h_{(l,e)}^{te} = 1$$

$$(\forall l \in N^{core}, \forall t_e \in T_e)$$

..... (14)

【0068】 制約式(13)は入口ノードにおける式で、制約式(14)は中継ノードにおける式である。制約式(13)は制約式(2)と同じであるため省略して良い。なお、この場合、制約式(3)において中継ノードを湧きだし

口としなくても良い。その場合、次のように設定できる。

【0069】

【数15】

$$\sum_{\{m:(l,m) \in L^{c-c}\}} f_{(l,m)}^{te} - \sum_{\{m:(m,l) \in L^{c-c}\}} f_{(m,l)}^{te}$$

$$+ o_{(l,e)} f_{(l,e)}^{te} - \sum_{\{m:(m,l) \in L^{e-c}\}} h_{(m,l)}^{te} = 0$$

$$(\forall t_e \in T_e, l \in N^{core})$$

..... (15)

【0070】 本発明の第3の実施の形態について説明する。ここで既に作成された木を既存木と定義する。

【0071】 図5は本発明の第3の実施の形態における木構造を持つ通信路の設計回路の構成を示すブロック図であり、経路既存木收容手段501、最適化基準作成手段502、木生成条件作成手段503、経路收容条件作成手段504、木利用判定条件作成手段505及び最適化手段506を備えたコンピュータ500と、キーボード等の入力部507と、ディスプレイ装置等の出力部508と、記録媒体509とから構成される。

【0072】 記録媒体509は、フロッピーディスク、R

40 OM、その他の記録媒体であり、コンピュータ500を木構造を持つ通信路の設計回路として機能させるためのプログラムが記録されている。このプログラムは、コンピュータ500によって読み取られ、コンピュータ500の動作を制御することで、コンピュータ500上に経路既存木收容手段501、最適化基準作成手段502、木生成条件作成手段503、経路收容条件作成手段504、木利用判定条件作成手段505、最適化手段506を実現する。

【0073】 図6は本発明の第3の実施の形態における経路既存木收容手段501、最適化基準作成手段502、木生成条件作成手段503、経路收容条件作成手段504、木利用判定

条件作成手段505, 最適化手段506 の処理例を示すフローチャートである。以下、各図を参照して本実施の形態の動作を説明する。

【0074】まず、入力部507 を用いてコンピュータ500 に入力データとして、端ノード、中継ノードおよびリンクから構成されるネットワークポロジと、出口ノードのノード識別子と、入口ノード出口ノード間の経路集合と、木候補グラフ集合と、既存木集合とを与える。

【0075】経路既存木収容手段501 では、与えられた

$$\sum_{(l,m) \in \left\{ L^{p(i,e)} \cap L^{c-c} \right\}} j_{(l,m)}^{ie} + \sum_{\left\{ (l,m) \in \left\{ L^{p(i,e)} \cap L^{e-c} \right\} \right\}} j_{(l,m)}^{ie} = \left| L^{p(i,e)} \right|$$

【0078】この判定をすべての既存木 $\forall l_e \in T_e^*$ について行い、1 つでもこの式(16)を満たす事ができた場合は、その経路 $p(i, e)$ は既存木に収容できたこととなる。

【0079】すべての経路について既存木に収容できるか判定を行い、収容できた場合終了となり、そうでない場合は、収容できなかった経路を収容できる新たな木を作成するステップに移る(図6のステップ602)

【0080】収容できなかった経路を収容できる新たな木を作成する図6のステップ603 ~607 は、収容できなかった経路のみを入力とする以外は本発明の第1の実施の形態の図3のステップ301 ~305 と同じである。

【0081】本発明の第4の実施の形態について説明する。第4の実施の形態は、図5に示す経路既存木収容手段501, 最適化基準作成手段502, 木生成条件作成手段503, 経路収容条件作成手段504, 木利用判定条件作成手段505 及び最適化手段506 に、図7のステップ701 ~707 の処理を行わせることにより実現される。なお、本実施の形態と第3の実施の形態とは、木生成条件作成手段503 が行うステップ704 の処理のみが異なるので、ここでは、木生成条件作成手段503 の動作についてのみ説明する。

【0082】木生成条件作成手段503 では、木候補グラフが木となるための制約式、即ち木候補グラフが連結となるための制約式と、各入口ノードおよび中継ノードを発ノードとするリンクを一本のみ使うという制約式を作成する(図7のステップ704)。尚、このステップ704 の処理は、図4のステップ402 と同じ処理である。

【0083】次に、本発明の第5の実施の形態について

経路が既存木に収容できるか判定する(図6のステップ601)。

【0076】既存木の集合を T_e^* と定義する。また、既存木 $l_e \in T_e^*$ がリンク (l, m) を使っている場合 1 をとり、そうでない場合 0 をとる定数 $j_{(l,m)}^{ie}$ を定義する。このとき経路 $p(i, e)$ が既存木 l_e に収容できるかは次式(16)により判定する。

【0077】

【数16】

..... (16)

説明する。

【0084】ここで人工変数の定義をする。人工変数は、線形計画問題を基準系で表したときに各制約式の左辺に 1 つ加えられる非負の変数である。この人工変数の合計を最小化する目的関数として設定した問題は実行可能性問題と呼ばれる。この実行可能性問題を解いて得られた解が 0 であった場合、この元の問題は実行可能な問題であり、この実行可能性問題の解は元の問題の 1 つの実行可能解である。これは Simplex 法において実行可能基底解を 1 つ求める第一段階において使われる手法である(伊理、今野、刀根、最適化ハンドブック、朝倉書店)。

【0085】図8は本発明の第5の実施の形態における木構造を持つ通信路の設計回路の構成を示すブロック図であり、実行可能判定基準作成手段801, 木生成条件作成手段802, 経路収容条件作成手段803, 人工変数埋込手段804, 最適化手段805 を備えたコンピュータ800 と、キーボード等の入力部806 と、ディスプレイ装置等の出力部807 と、記録媒体808 とから構成される。

【0086】記録媒体808 は、フロッピーディスク、ROM, その他の記録媒体であり、コンピュータ800 を木構造を持つ通信路の設計回路として機能させるためのプログラムが記録されている。このプログラムは、コンピュータ800 によって読み取られ、コンピュータ800 の動作を制御することで、コンピュータ800 上に実行可能判定基準作成手段801, 木生成条件作成手段802, 経路収容条件作成手段803, 人工変数埋込手段804, 最適化手段805 を実現する。

【0087】図9は本発明の第5の実施の形態における

30

40

50

木構造を持つ通信路の設計回路の処理例を示すフローチャートであり、以下各図を参照して本実施の形態の動作について説明する。

【0088】説明のしやすさから、木生成条件作成手段802、経路収容条件作成手段803、人工変数埋込手段804、実行可能判定基準作成手段801、最適化手段805の順に説明する。

【0089】木生成条件作成手段802、経路収容条件作成手段803は、それぞれ第1の実施の形態における木生成条件作成手段102、経路収容条件作成手段103と同様の処理を行う(図9、ステップ902,903)。

【0090】人工変数埋込手段804では各制約式に人工変数を埋め込む(図9、ステップ904)。木生成条件作成手段802、経路収容条件作成手段803より作成された全制約式に対して、係数行列A、変数ベクトルx、係数ベクトルcを設定する。このとき、k番目の制約式の係数ベクトルを a_k 、定数項を c_k で表す。そして、人工変数ベクトルをyと置き、k番目の制約式の人工変数を y_k で表す。すると、例えばk番目の制約式が等号で表される制約式だった場合、人工変数を埋め込まれた制約式は次式(17)のようになる。なお、不等号で表される制約式の場合は不等号になる。

【0091】

【数17】

$$a_k x + y_k = c_k$$

・・・(17)

【0092】人工変数埋込手段804で、このようにしてすべての制約式に対して人工変数を付加する。

【0093】実行可能判定基準作成手段801では人工変数の合計を最小化する目的関数を作成する(図9、ステップ901)。これが実行可能性を判断する基準で、目的関数値が0となればこの問題は実行可能となる。

【0094】最適化手段805で解いた結果、目的関数値が0となればこの問題は実行可能となり、与えられた経路を収容する木構造からなる通信路を得る(図9、ステップ905)。

【0095】目的関数値が0でない場合は、与えた木候補グラフの数の範囲では与えられた経路をすべて収容する木構造をもつ通信路を作れないこととなる。

【0096】前記人工変数埋込手段804では、すべての制約式に対して人工変数を付加したが、任意の制約式でもよい。

【0097】次に、本発明の第6の実施の形態について説明する。本実施の形態は、図8に示した実行可能判定基準作成手段801、木生成条件作成手段802、経路収容条件作成手段803、人工変数埋込手段804、最適化手段805に、それぞれ図10のフローチャートのステップ1001,1002,1003,1004,1005の処理を行わせることにより実現される。尚、本実施の形態と第5の実施の形態とは、木生成条件作成手段802が行うステップ1002の処理が異なる

だけであるので、ここでは、木生成条件作成手段802についてのみ説明する。

【0098】木生成条件作成手段802では、木候補グラフが木となるための制約式を作成する(図10、ステップ1002)。尚、このステップ1002の処理は、図4のステップ402と同じである。

【0099】次に、本発明の第7の実施の形態について説明する。

【0100】図11は本発明の第7の実施の形態における木構造を持つ通信路の設計回路の構成を示すブロック図であり、経路既存木収容手段1101、実行可能判定基準作成手段1102、木生成条件作成手段1103、経路収容条件作成手段1104、人工変数埋込手段1105、最適化手段1106を備えたコンピュータ1100と、キーボード等の入力部1107と、ディスプレイ装置等の出力部1108と、記録媒体1109とから構成される。

【0101】記録媒体1109はフロッピーディスク、ROM、その他の記録媒体であり、コンピュータ1100を木構造を持つ通信路の設計回路として機能させるためのプログラムが記録されている。このプログラムは、コンピュータ1100によって読み取られ、コンピュータ1100の動作を制御することでコンピュータ1100上に経路既存木収容手段1101、実行可能判定基準作成手段1102、木生成条件作成手段1103、経路収容条件作成手段1104、人工変数埋込手段1105、最適化手段1106を実現する。

【0102】図12は本発明の第7の実施の形態における木構造を持つ通信路の設計回路の処理例を示すフローチャートである。

【0103】本実施の形態は、与えられた経路を既存木に収容するステップ、すべての経路を既存木に収容できたか否かを判定するステップ(図12のステップ1201,1202)以外は第5の実施の形態と同じである。また、ステップ1201,1202の処理は、図6に示した第3の実施の形態のステップ601,602と同じである。

【0104】次に、本発明の第8の実施の形態について説明する。本実施の形態は、図11に示した経路既存木収容手段1101、実行可能判定基準作成手段1102、木生成条件作成手段1103、経路収容条件作成手段1104、人工変数埋込手段1105、最適化手段1106に、図13のフローチャートのステップ1301,1302,1303,1304,1305,1306,1307の処理を行わせることにより実現される。

【0105】本実施の形態は、木候補グラフが木となるための制約を作るステップ(図13のステップ1304)以外は、第7の実施の形態と同じである。また、ステップ1304は、図4に示す第2の実施の形態のステップ402と同じである。

【0106】

【発明の効果】本発明の第1の効果は、与えられた入口ノードと出口ノード間の経路を収容する最小数の木構造を持つ通信路を与えることができることである。その理

由は木構造を持つ通信路数を最小化する目的関数を持つ混合整数計画問題を設定し、解いているからである。

【0107】本発明の第2の効果は、与えられた入口ノードと出口ノード間の経路を収容する木構造を持つ通信路を与えることができることである。その理由は与えられた経路を収容する木構造を持つ通信路数を求める混合整数計画問題を設定し、解いているからである。

【0108】本発明の第3効果は、既存の木構造を持つ通信路がある場合、既存の木構造を持つ通信路を利用して新しく作成する木構造を持つ通信路を少なくすることである。その理由は、まず既存の木構造を持つ通信路に、与えられた入口ノードと出口ノード間の経路が収容できるかを判定し、収容できなかった経路のみを新しく作成する木構造を持つ通信路に収容するからである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1および第2実施の形態による木構造を持つ通信路の設計回路の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明を適用するネットワークの例を示す図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態による木構造を持つ通信路の設計回路の処理例を示すフローチャートである。

【図4】本発明の第2の実施の形態による木構造を持つ通信路の設計回路の処理例を示すフローチャートである。

【図5】本発明の第3および第4実施の形態による木構造を持つ通信路の設計回路の構成を示すブロック図である。

【図6】本発明の第3の実施の形態による木構造を持つ通信路の設計回路の処理例を示すフローチャートである。

【図7】本発明の第4の実施の形態による木構造を持つ通信路の設計回路の処理例を示すフローチャートである。

【図8】本発明の第5および第6実施の形態による木構造を持つ通信路の設計回路の構成を示すブロック図である。

【図9】本発明の第5の実施の形態による木構造を持つ通信路の設計回路の処理例を示すフローチャートである。

【図10】本発明の第6の実施の形態による木構造を持つ通信路の設計回路の処理例を示すフローチャートである。

【図11】本発明の第7および第8実施の形態による木構造を持つ通信路の設計回路の構成を示すブロック図である。

【図12】本発明の第7の実施の形態による木構造を持

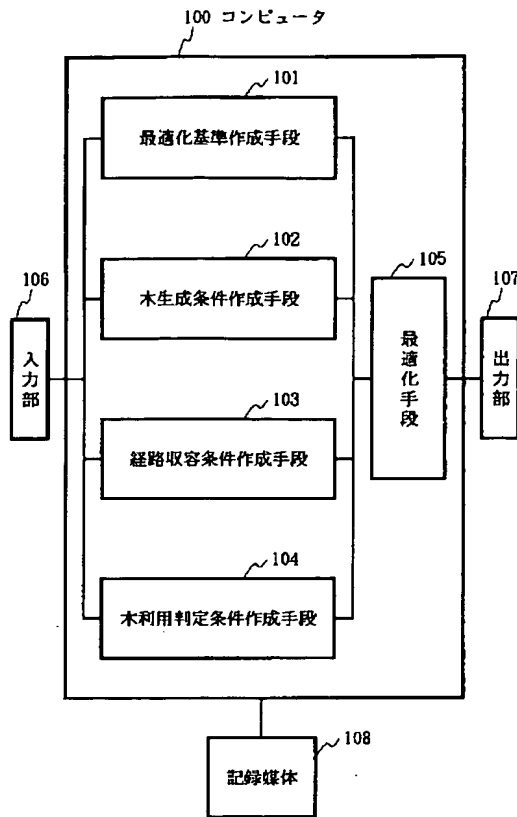
つ通信路の設計回路の処理例を示すフローチャートである。

【図13】本発明の第8の実施の形態による木構造を持つ通信路の設計回路の処理例を示すフローチャートである。

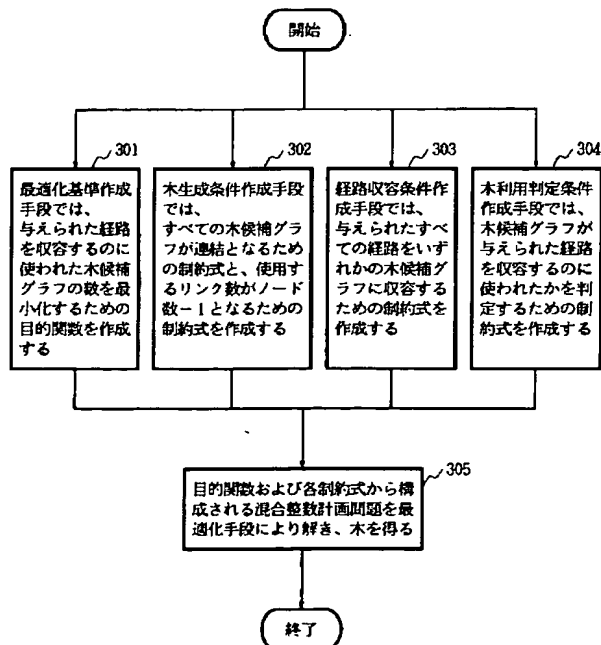
【符号の説明】

- 100 …コンピュータ
- 101 …最適化基準作成手段
- 102 …木生成条件作成手段
- 10 103 …経路収容条件作成手段
- 104 …木利用判定条件作成手段
- 105 …最適化手段
- 106 …入力部
- 107 …出力部
- 108 …記録媒体
- cl~c5…中継ノード
- el~e10…端ノード
- tl~t3…木
- 500 …コンピュータ
- 20 501 …経路既存木収容手段
- 502 …最適化基準作成手段
- 503 …木生成条件作成手段
- 504 …経路収容条件作成手段
- 505 …木利用判定条件作成手段
- 506 …最適化手段
- 507 …入力部
- 508 …出力部
- 509 …記録媒体
- 800 …コンピュータ
- 30 801 …実行可能判定基準作成手段
- 802 …木生成条件作成手段
- 803 …経路収容条件作成手段
- 804 …人工変数埋込手段
- 805 …最適化手段
- 806 …入力部
- 807 …出力部
- 808 …記録媒体
- 1100…コンピュータ
- 1101…経路既存木収容手段
- 40 1102…実行可能判定基準作成手段
- 1103…木生成条件作成手段
- 1104…経路収容条件作成手段
- 1105…人工変数埋込手段
- 1106…最適化手段
- 1107…入力部
- 1108…出力部
- 1109…記録媒体

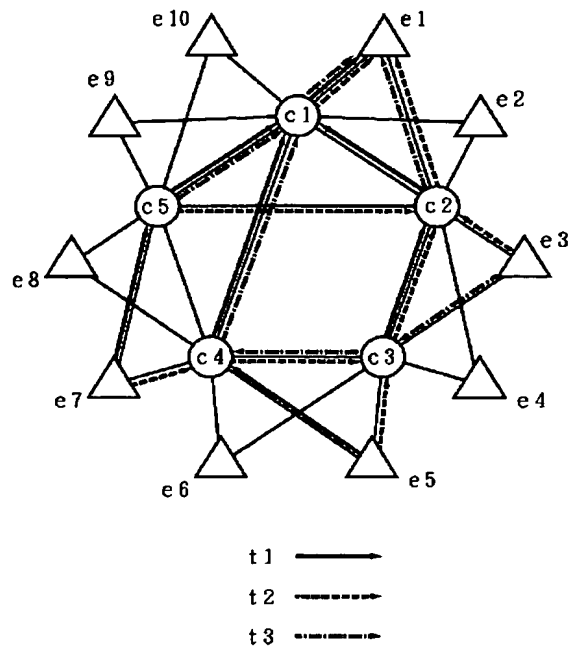
【図 1】



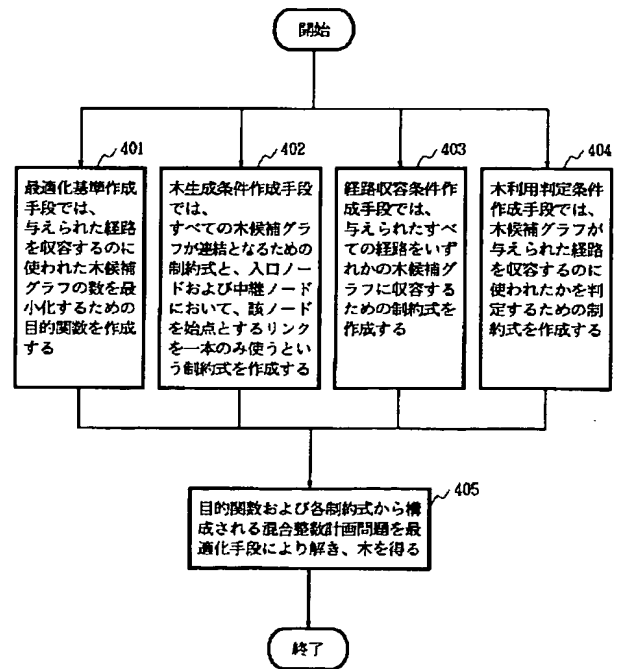
【図 3】



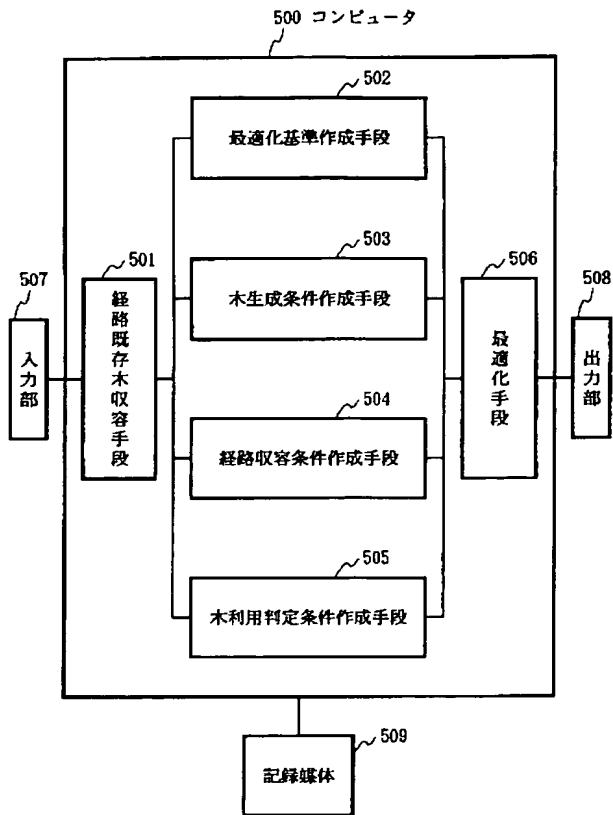
【図 2】



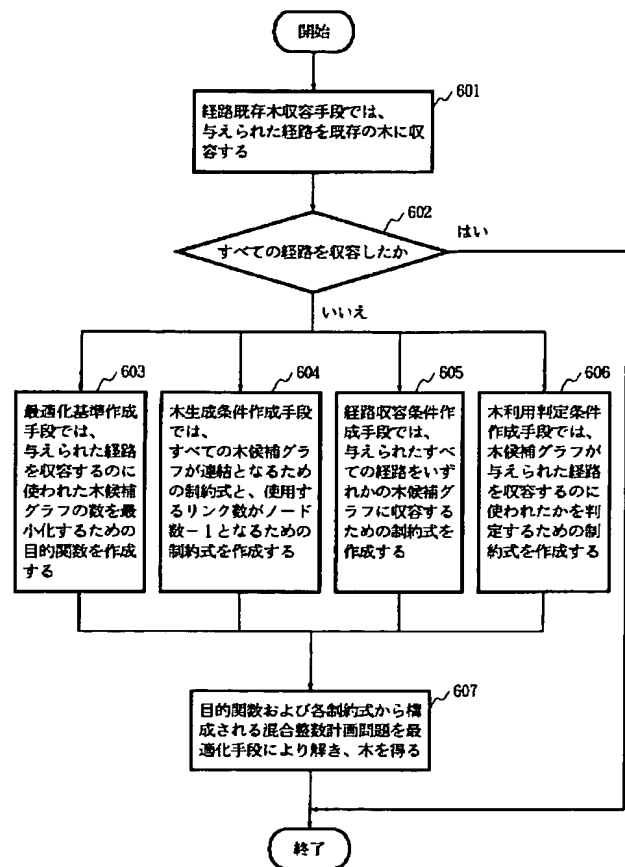
【図 4】



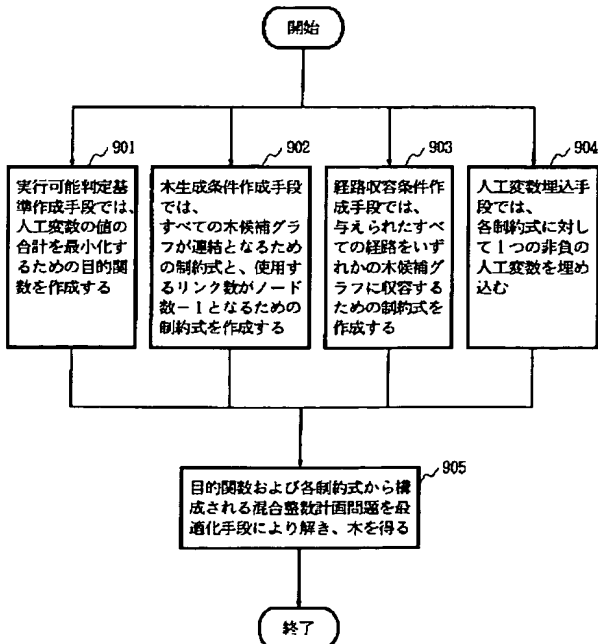
【図5】



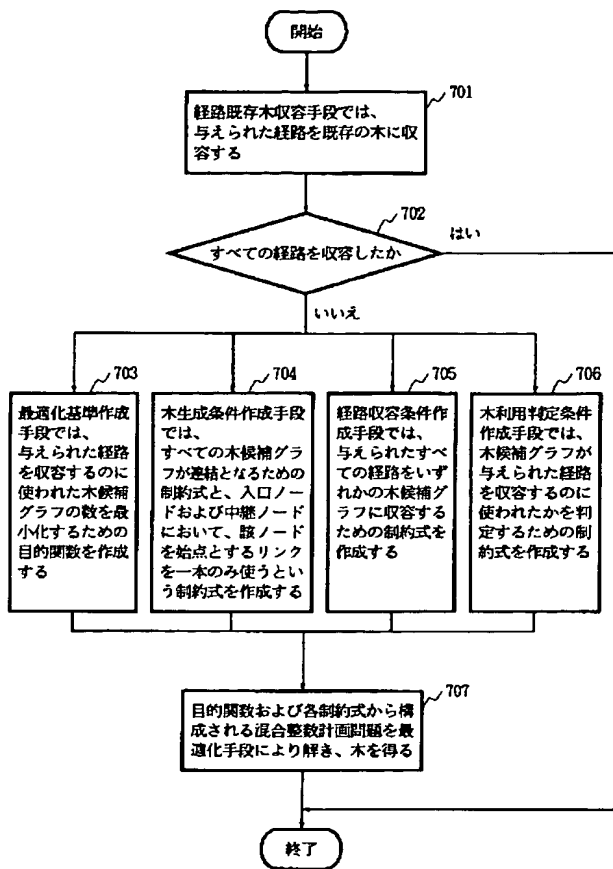
【図6】



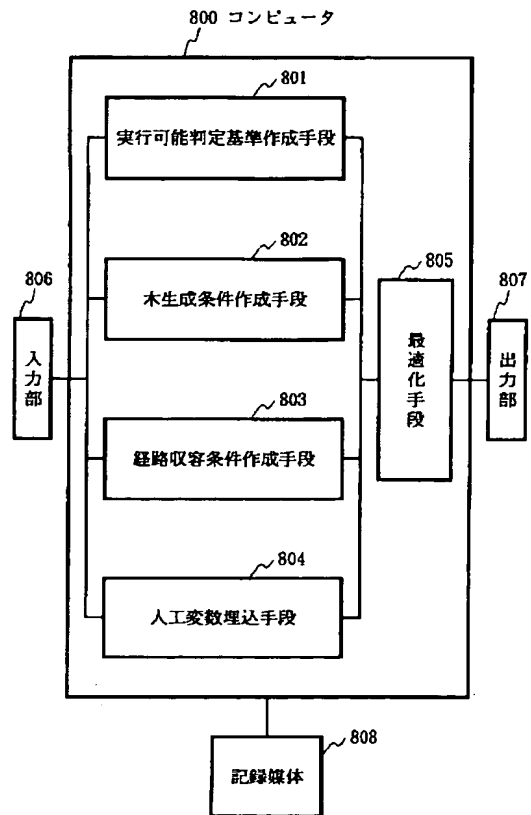
【図9】



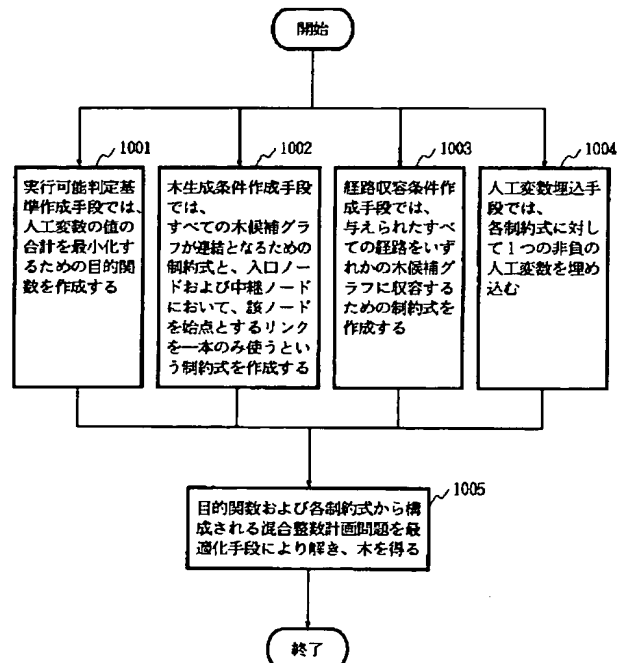
【図7】



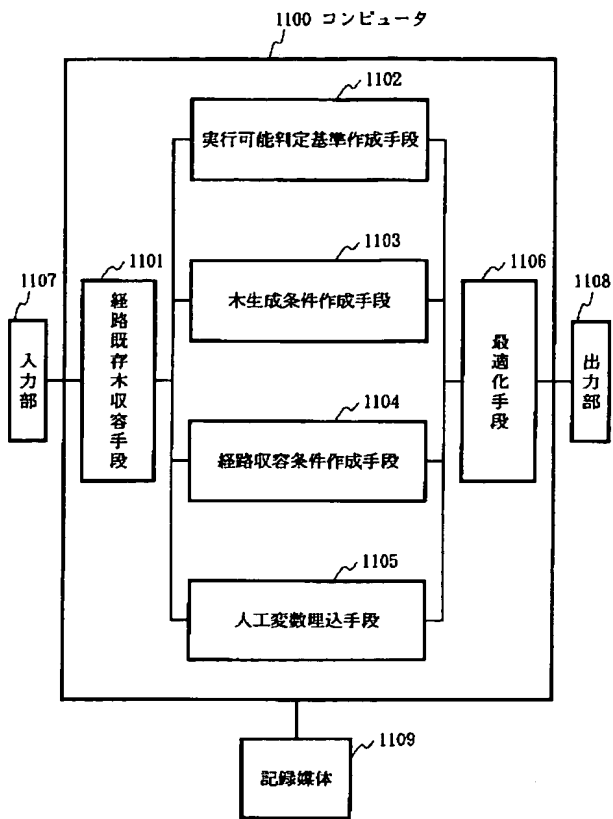
【図8】



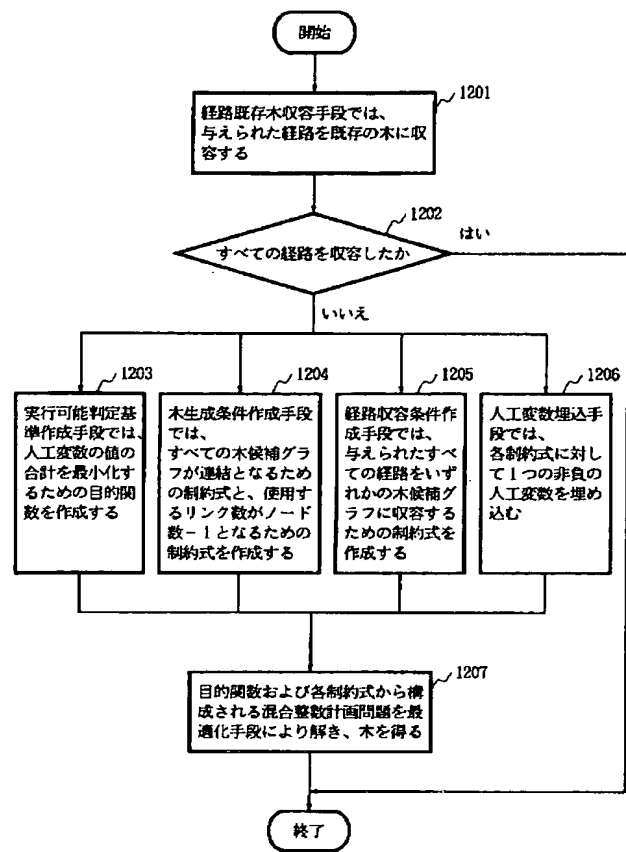
【図10】



【図 11】



【図 12】



【図 13】

